

Qualitätsmodell und -analyse in der Verkehrstelematik*

Ralf Laufer

Zusammenfassung

In der Geodäsie spielt die Qualität seit jeher eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung von Daten. In diesem Beitrag wird ein umfassendes Konzept zum Management von Datenqualität vorgestellt, welches nicht nur in der Verkehrstelematik zum Einsatz kommen kann. Neben einem Modell zur Beschreibung der Datenqualität umfasst das Konzept auch eine Auswahl von existierenden Methoden zur Analyse von datenverarbeitenden Systemen und unterstützt bei der Planung, Umsetzung und Evaluierung von Qualitätssicherungs- und -verbesserungsmaßnahmen.

Summary

Quality always played a decisive role in data evaluation in geodesy. In this article a comprehensive concept for managing data quality will be presented, which can be used not only in the field of transport telematics. Besides a model for describing data quality the concept includes a variety of existing methods to analyze data processing systems and supports planning, implementation and evaluation of quality assurance and improvement methods.

Schlagworte: Datenqualität, Qualitätsmodell, Datenqualitätsmanagement, Verkehrstelematik, Mobilfunkortung

1 Einleitung

Die Beurteilung der Qualität geodätischer Beobachtungen und der Umgang mit der von Natur aus nicht fehlerfreien Realität ist seit jeher eine der Kernkompetenzen eines jeden Geodäten. Insbesondere die physikalisch begrenzte Genauigkeit jeder Art von Messung war der Anlass zur Entwicklung einer Reihe von weit über die Grenzen der Geodäsie nützlichen Werkzeugen und Methoden. Die Entwicklung der Varianz-Fortpflanzung (ehemals Fehler-Fortpflanzung) und der Ausgleichsrechnung, die maßgeblich auf C.F. Gauß zurückzuführen sind, haben die Behandlung und Abschätzung der Genauigkeit von Daten erst in der heutigen Form ermöglicht und sind daher schon seit langem wesentlicher Bestandteil eines Studiums der Geodäsie.

Auch die Qualitätskriterien der inneren und äußeren Zuverlässigkeit sind heute Standard bei der Planung und Beurteilung von Überwachungsmessungen. Niemeier (2002) definiert die Zuverlässigkeit als *Qualität der Realisierung* und fasst damit die Kontrollierbarkeit von Beobachtungen in einem Ausgleichsmodell (innere Zuverlässigkeit) und die Abschätzung des Einflusses nicht aufdeckbarer Fehler auf das Ergebnis (äußere Zuverlässigkeit) zusammen.

In der klassischen Geodäsie bleibt die Qualität in der Regel auf die beiden Merkmale Genauigkeit und Zuverlässigkeit beschränkt. Werden Geodaten jedoch in großen Mengen gesammelt, verwaltet, analysiert und ausgetauscht, so sind weitere Qualitätsaspekte von wesentlicher Bedeutung. Diese Notwendigkeit wurde mit der schnellen Verbreitung von Geoinformationssystemen bald erkannt und ab den 1990er-Jahren tauchten eine Reihe von mehr oder weniger umfassenden Qualitätsmodellen auf, die den neuen Anforderungen gerecht werden sollten (z. B. Caspary 1993, Joos 2000). Die Bestrebungen mündeten schließlich nach einer Reihe von Vornormen in der Technischen Spezifikation ISO/TS 19138 (2006), bzw. auf deutscher Ebene in der Spezifikation PAS 1071 (2007), die ein umfassendes Qualitätsmodell für Geodaten bereitstellen.

Im Umfeld der Verkehrstelematik spielt Datenqualität ebenfalls in den meisten Anwendungen eine entscheidende Rolle. Insbesondere moderne Fahrerassistenzsysteme und Systeme zur Verkehrslenkung und -steuerung benötigen qualitätsgesicherte und vom Nutzer bzw. dem System jederzeit beurteilbare Informationen. Für Anwendungen in der Verkehrstelematik wurde aus diesem Anlass von Wiltshko (2004) ein Qualitätsmodell für Informationen entwickelt, welches im Kern eine problemangepasste Schnittmenge aus den in der Literatur bereits vorhandenen Qualitätsbegriffen und Modellen aus den Bereichen Maschinen- und Anlagenbau, Informationstechnik und insbesondere den Geodaten darstellt. Dieses Modell entspricht noch immer den aktuellen Anforderungen und wird in diesem Beitrag vorgestellt und in den Kontext eines Managementkonzeptes für Datenqualität eingebunden. Die praktische Umsetzung wird in Auszügen anhand eines im letzten Jahr abgeschlossenen BMWi-Projektes beispielhaft erläutert.

2 Qualitätsmanagementkonzept für Daten

Ein Qualitätsmanagement (QM) für Daten umfasst die organisierten Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der Datenqualität. Die Qualität verschiedenartiger, relevanter Daten muss in einem einheitlichen Rahmen sowohl qualitativ als auch quantitativ beschreibbar sein. Des Weiteren muss ein Qualitätsmanagement die Sicherung und Verbesserung der Qualität gewährleisten. Die

* Überarbeitete Fassung des gleichnamigen Vortrags beim 93. DVW-Seminar »Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswerteverfahren« am 10./11. Juni 2010 in Hannover. Die Seminarbeiträge sind als Band 61 der Schriftenreihe des DVW im Wißner-Verlag erschienen.

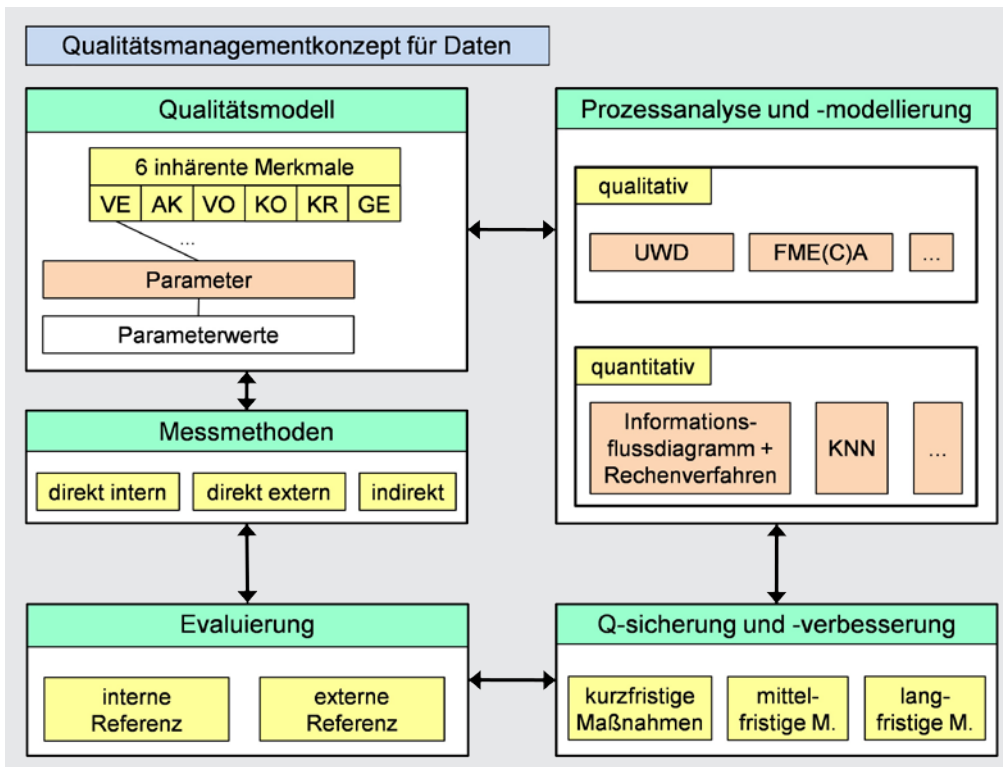


Abb. 1:
Qualitätsmanagement-
konzept für Daten
(nach Laufer 2008)

Anforderungen der Kunden müssen zunächst quantifizierbar sein, bevor ihre Erfüllung überprüft werden kann. Ziel ist dabei mindestens die Erfüllung, idealerweise sogar das Übertreffen der Erwartungen.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes Do-iT (Data Optimization for integrated Telematics) wurde ein Konzept zum Management der Datenqualität entwickelt und teilweise umgesetzt. Schwerpunkt des Projektes war die Entwicklung und Evaluierung von Methoden zur Generierung von Verkehrsinformationen aus Mobilfunkdaten (Ramm und Schwieger 2008). Das Qualitätsmanagementkonzept umfasst zum einen, neben dem universellen Modell, mit dem eine qualitative Beschreibung der Datenqualität ermöglicht wird, auch die zugehörigen Messmethoden, die der Bestimmung der Qualitätsparameterwerte dienen. Zum anderen beinhaltet das Konzept eine Reihe ausgewählter Methoden zur Analyse von Daten verarbeitenden Prozessen, mit dem Ziel, Qualitätssicherungs- und -verbesserungsmaßnahmen zu entwickeln und zu beurteilen. In Zukunft soll damit auch die Modellierung und Simulation von Datenqualität in Prozessen möglich sein, was in dem beschriebenen Projekt allerdings noch nicht erfolgt ist.

In der Abb. 1 sind die wesentlichen Komponenten des Qualitätsmanagementkonzeptes für Daten übersichtlich dargestellt. Die fünf Hauptbestandteile *Qualitätsmodell*, *Prozessanalyse & Modellierung*, *Messmethoden*, sowie die *Qualitätssicherungs- und -verbesserung* und die *Evaluierung* sind sehr eng miteinander verknüpft. Der Ablauf gemäß dem Konzept sieht in der Regel wie folgt aus:

- Eine erste Voranalyse der vorliegenden oder geplanten Prozesse gibt Aufschluss über die beteiligten Datenarten und

- ermöglicht die Konkretisierung der Qualitätsmodelle mithilfe geeigneter Parameter sowie
- die Erarbeitung der zugehörigen Messmethoden.
- Damit ist die Qualität der Daten beschreibbar und kann erstmals evaluiert werden.
- Eine detaillierte Prozessanalyse ist Voraussetzung zur Beschreibung und Modellierung von Zusammenhängen zwischen den Parametern innerhalb der Prozesse sowie
- für die Erarbeitung und Umsetzung von Qualitätssicherungs- und -verbesserungsmaßnahmen.
- Die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen kann ggf. zunächst simuliert werden.
- Zur Evaluierung der Maßnahmen und der aktuell vorliegenden Datenqualität sind wiederum die definierten Qualitätsparameter mit ihren Messmethoden und/oder geeignete Analysemethoden notwendig.

Hinsichtlich des Ziels der ständigen Verbesserung der Datenqualität als Bestandteil eines ganzheitlichen, unternehmerischen Qualitätsmanagements nach dem Vorbild des Kaizen bzw. des KVP-Prinzips (KVP steht für Kontinuierlicher Verbesserungsprozess), wiederholen sich die Tätigkeiten in regelmäßigen Abständen und die Festlegungen werden kritisch geprüft und ggf. überarbeitet (Kamiske und Brauer 2008). Damit soll den ständigen, zeitlichen Veränderungen Rechnung getragen und das Verbesserungspotenzial kontinuierlich ausgeschöpft werden. Die Grundidee wird Edward Deming (1982) zugeschrieben, der den PDCA-Zyklus (oder auch Deming-Zyklus) bestehend aus den sich immer wiederholenden Tätigkeiten Plan-Do-Check-Act entwickelt hat. Die ein-

zelen Bestandteile des Kreislaufs können wie folgt interpretiert werden:

- *Plan*: Zunächst muss eine Verbesserungsmaßnahme geplant werden.
- *Do*: Die Verbesserungsmaßnahme wird umgesetzt oder simuliert.
- *Check*: Die Wirksamkeit der Maßnahmen muss überprüft werden.
- *Act*: Die Maßnahme wird in den regulären Prozess integriert oder ggf. nochmals geändert, bevor weitere Maßnahmen geplant werden können.
- Der Kreislauf beginnt mit einer Wiederholung bzw. Aktualisierung der Analyse von Neuem, die *Plan*-Phase beginnt erneut.

Dabei spielt neben der Qualitätsverbesserung insbesondere auch die Sicherung des erreichten Qualitätsniveaus eine entscheidende Rolle. In der Übersicht in Abb. 1 werden beide Begriffe wegen ihrer engen Zusammengehörigkeit in einem Kasten zusammengefasst.

2.1 Qualitätsmodell

In Wiltshko (2004) und später in Wiltshko und Kaufmann (2005) wurde ein Qualitätsmodell für Informationen entwickelt, das hier verkürzt dargestellt wird. Das Modell zur umfassenden Beschreibung aller relevanten Aspekte der Datenqualität (das Modell ist in gleicher Weise für Daten und Informationen geeignet) besteht aus sechs inhärenten Qualitätsmerkmalen. Die Qualitätsmerkmale lassen sich in die *Zuverlässigkeit*, die *Integrität* und die *Genauigkeit* beschreibende Merkmale einteilen und werden jeweils mit einer Reihe von zugehörigen Qualitätsparametern konkretisiert (Tab. 1).

Dieses Modell wurde allgemeiner formuliert, als es in der ISO/TS 19138 (2006) bzw. in der PAS 1071 (2007) der Fall ist. Beide Modelle ähneln sich jedoch in weiten Teilen. Die Merkmale werden in den Spezifikationen mit *elements* und die Parameter mit *subelements/basic measures* bezeichnet. Insgesamt werden in dem ISO/PAS-Modell nur fünf Merkmale definiert, die Verfügbarkeit wird dort bereits vorausgesetzt. Alle weiteren Merkmale finden sich in den Elementen und Subelementen des Modells wieder. Bei beiden Modellen handelt es sich um offene Modelle, die um weitere, geeignete Parameter bzw. Subelemente erweitert werden können. Lediglich die Merkmale, respektive die Datenelemente, stehen bei beiden fest. Die Qualitätselemente des ISO/PAS-Modells sind jedoch bereits auf Geodaten im engen Kontext der Geoinformationssysteme (GIS) zugeschnitten, daher wird an dem hier vorgestellten, allgemeineren Modell festgehalten.

Die sechs Qualitätsmerkmale decken alle Qualitätsaspekte ab. Sie dienen als Orientierungshilfe bei der Suche und Definition einer konkreten Beschreibung der betrachteten Datenart mithilfe geeigneter Qualitätsparameter. Die Qualitätsparameter ermöglichen die quantitative Beschreibung der Daten, daher müssen geeignete Messmethoden entwickelt werden, um die Parameterwerte zu ermitteln. Damit wird auch die quantitative Beurteilung der Datenqualität sowie der Wirksamkeit von Qualitätssicherungs- und -verbesserungsmaßnahmen ermöglicht.

Die Tab. 2 zeigt als Beispiel einen Auszug aus dem Qualitätsmodell, welches im Projekt Do-iT für die sogenannten FPD (Floating Phone Daten) definiert wurde. Es handelt sich bei FPD um Fahrtrajektorien von aktiven Verkehrsteilnehmern, die mithilfe der Mobilfunkortung ermittelt werden.

Die hier dargestellten Qualitätsparameter wurden für die Evaluierung der Trajektorien und damit auch der ent-

Tab. 1: Qualitätsmodell für Informationen (nach Wiltshko 2004)

Merkmal	Kürzel	Beschreibung
die Zuverlässigkeit beschreibende Merkmale		
Verfügbarkeit	VE	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins der Information zu einem definierten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort an.
Aktualität	AK	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der sich zeitlich ändernden konzeptionellen Realität an.
die Integrität beschreibende Merkmale		
Vollständigkeit	VO	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins sämtlicher zur Beschreibung der konzeptionellen Realität erforderlichen Informationen an.
Konsistenz	KO	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit dem Informationsmodell an.
Korrektheit	KR	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der konzeptionellen Realität bei vorausgesetzter Aktualität an.
die Genauigkeit beschreibendes Merkmal		
Genauigkeit	GE	Gibt den Zusammenhang zwischen dem ermittelten (meist gemessenen) Wert und dem wahren Wert bzw. plausibelsten Wert an.

Tab. 2: Auszug aus dem Qualitätsmodell für FPD (Do-iT 2009)

Merkmal	Parameter	Kürzel, Einheit	Definition
VO	Trajektorien-vollständigkeit	VO_{FPD} [%]	Anteil der verwendeten Positionen einer Positionsfolge eines Teilnehmers, der für die Trajektorie verwendet wird.
	Durchdringung mit FPD	d [%]	Anteil des Verkehrs, der mit FPD erfasst werden kann, bezogen auf den gesamten Verkehr.
KR	Zuordnungskorrektheit Typ A	KR_{ZuA} [%]	Korrekturer Streckenanteil der FPD-Route, der sich mit der GPS-Route deckt, bezogen auf die Länge der GPS-Route.
	Zuordnungskorrektheit Typ B	KR_{ZuB} [%]	Korrekturer Streckenanteil der FPD-Route, der sich mit der GPS-Route deckt, bezogen auf die Länge der ermittelten FPD-Route.
	Rangkorrelation	r [-]	Ähnlichkeit der Tagesganglinien der Verkehrsstärke aus FPD und aus SES.
GE	Mittlere Querabweichung	QA_{FPD} [m]	Mittel der orthogonalen Abweichungen der verwendeten Positionen von der wahrscheinlichsten Route.
	Standardabweichung der Geschwindigkeit	S_V [km/h]	Genauigkeit der aus den Trajektorien ermittelbaren Geschwindigkeit.
...

wickelten Algorithmen definiert. Als Referenz wurden einerseits interne Testfahrten mit GPS durchgeführt und zum anderen standen Daten von stationären Verkehrsdatenerfassungssystemen (SES) im Projektnetz zur Verfügung. Dabei handelt es sich in erster Linie um erfasste Verkehrsstärken einzelner Messquerschnitte auf Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen im Projektnetz, die zu Stundenwerten akkumuliert wurden. Daneben standen zusätzlich im Stadtgebiet von Karlsruhe auch einige passive Infrarotsensoren (sogenannte Traffic Eyes Universal – TEU) zur Verfügung (Abb. 2a und 2b).



Abb. 2a und b: Induktionsschleife zur Verkehrszählung (linkes Bild) und über Kopf angeordneter TEU-Sensor (rechtes Bild). Quelle: www.siemens.com

Die erforderlichen Messmethoden zur Bestimmung der Parameterwerte können allgemein in drei unterschiedliche Gruppen unterteilt werden:

- **Direkt intern:** Wert kann aus dem Prozess heraus ohne Referenzdaten ermittelt werden. Beispiel: Trajektorien-vollständigkeit (Tab. 2):

$$VO_{FPD} = \frac{\text{Anz. verwendeter Positionen}}{\text{alle Positionen der Folge}} [100\%]. \quad (1)$$

- **Direkt extern:** Wert kann mithilfe von Referenzdaten höherer Genauigkeit ermittelt werden. Beispiel: Rangkorrelation der Verkehrsstärke aus FPD (Tab. 2):

$$R = \frac{1 - 6 \cdot \sum D^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (2)$$

mit den Differenzen D der n Rangpaare der absteigend sortierten Messreihen.

- **Indirekt:** Wert kann nicht direkt berechnet werden, sondern muss aus anderer Quelle abgeschätzt werden (z.B. Herstellerangabe, Expertenwissen). Beispiel: Zählgenauigkeit eines SES.

Dabei sind die nur indirekt bestimmbaren Parameter – sofern möglich – zu vermeiden, da die Qualität der Aussagen von deren Quelle abhängt, die in der Regel nur schwer überprüfbar ist. Im Qualitätsmodell für FPD-Trajektorien konnte bewusst auf nur indirekt bestimmbare Parameter verzichtet werden. Direkt extern bestimmbare Parameter liefern dagegen eine unabhängige Kontrolle der Ergebnisse und damit eine externe Evaluierungskomponente (vgl. Abschnitt 2.4). Die Beschaffung geeigneter Referenzdaten ist jedoch unter Umständen mit einem großen Aufwand verbunden oder manchmal sogar unmöglich. Im Projekt Do-iT musste die Erhebung von Referenztrajektorien mit GPS auf wenige Fahrten mit dem eigenen Messfahrzeug beschränkt werden, eine Vollerhebung war aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Die Daten der SES standen dagegen, zumindest teilweise, während der gesamten Evaluierungsphase zur Verfügung. Die direkt intern bestimmbaren Parameter sind insbesondere zur Beurteilung und Optimierung der vorliegenden Prozesse

geeignet. Aus dem relativen Vergleich der Parameter zu verschiedenen Zeitpunkten können Veränderungen der Qualität identifiziert werden, eine absolute Beurteilung ist damit jedoch nicht möglich.

2.2 Analyseverfahren

Eine sehr einfache Darstellung vorliegender oder geplanter Prozesse in Form eines Funktionsschemas unterstützt die Identifikation aller beteiligten Datenarten. Im Funktionsschema werden alle wesentlichen Elemente und Prozesse eines Systems sowie deren Verknüpfungen grafisch dargestellt, vergleichbar mit einem Blockdiagramm (ITWissen 2010). Dazu sollten bereits die entsprechenden Fachleute an einen Tisch gebracht werden, um das Expertenwissen zu bündeln. Für die nachfolgenden Detailanalysen ist dies jedoch eine notwendige Voraussetzung, da die Qualität der Untersuchungen unmittelbar von dem in der Regel verteilt vorliegenden Wissen der Beteiligten aus unterschiedlichen Fachbereichen abhängt.

Nachdem die einzelnen Datenarten identifiziert wurden, können geeignete Qualitätsparameter und zugehörige Messmethoden zu deren Bestimmung definiert werden. Damit ist bereits eine Bestandsaufnahme des aktuellen Qualitätsniveaus möglich. In der Entwicklungsphase von Prozessen kann der Fortschritt so überwacht und Änderungen schnell erkannt und näher identifiziert werden. Liegen bereits bestehende Prozesse vor, so ist eine regelmäßige Überprüfung der Datenqualität möglich. Damit kann auch die Einhaltung des vom Kunden oder der Anwendung geforderten Qualitätsniveaus kontrolliert werden und Schwankungen der Qualität lassen sich besser und schneller feststellen.

Um nach dem Prinzip der ständigen Verbesserung Optimierungspotenzial zu identifizieren und die Datenqualität regelmäßig zu steigern, mindestens jedoch zu sichern, ist eine detaillierte Analyse der Prozesse notwendig. Dazu stehen eine Reihe von Standardmethoden zur Verfügung, die ein strukturiertes Vorgehen sicherstellen und helfen, das vorhandene Expertenwissen aufzuspüren, zu bündeln und festzuhalten sowie Optimierungspotenzial zu identifizieren. Aus den dokumentierten und priorisierten Optimierungspotenzialen können schließlich Maßnahmen zur Qualitätssicherung und/oder -verbesserung abgeleitet und umgesetzt werden. Deren Erfolg kann anhand geeigneter Kennzahlen bzw. Qualitätsparameter überprüft werden.

2.2.1 Qualitative Analyseverfahren

Grundsätzlich können **qualitative** und **quantitative** Analyseverfahren nach der Art der gewonnenen Erkenntnisse unterschieden werden. Die detaillierten Analysen werden auf Grundlage der groben Darstellung der Zusammenhänge aller wesentlichen Bestandteile und Prozesse in dem zu untersuchenden System (z. B. in Form eines Funk-

tionsschemas) vorgenommen. Als rein qualitative Analysemethoden wurden im Projekt Do-iT die drei Verfahren

- Ursachen-Wirkungs-Diagramm (UWD),
- Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA) und das
- Informationsflussdiagramm

gewählt und – soweit es möglich war – eingesetzt. Beim UWD und der FMEA handelt es sich um teamorientierte und »textbasierte« Verfahren, die ganz allgemein der systematischen Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Ursache (Fehler) und Wirkung in einem Produkt, Bauteil oder informationsverarbeitenden System dienen. Diese beiden Verfahren unterscheiden sich insbesondere in der Herangehensweise an die zu erörternde Problematik. Das UWD wurde bereits 1943 von dem Japaner Kaoro Ishikawa entwickelt und wird daher auch als *Ishikawa-Diagramm* bezeichnet. Bei der Aufstellung eines UWD werden mögliche Ursachen und Nebenursachen für ein zuvor festgelegtes, nicht gewünschtes Ereignis gesucht, daher auch die Bezeichnung »top-down-Ansatz« (Schulte-Zurhausen 2002). Bei der FMEA-Analyse hingegen handelt es sich um einen »bottom-up« Ansatz. Das bedeutet, es werden Fehlermöglichkeiten in einzelnen Bauteilen ermittelt und anschließend deren Auswirkungen auf das gesamte System näher untersucht. Aufgrund der Charakteristik wird letzteres auch als induktives Verfahren und das UWD als deduktives Verfahren bezeichnet. Die FMEA wurde bereits in den 1960er-Jahren von der NASA entwickelt (Müller und Tietjen 2000) und ist heute zu einem Standardwerkzeug in der Industrie geworden. Erst 1990 wurde sie schließlich mit der DIN 25448 (1990) und später mit der DIN 60812 (2006) auch in einer allgemeingültigen Form in die Normenfamilie aufgenommen.

Nach Müller und Tietjen (2000) ist das Ziel der systematisierten Herangehensweise die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Wo könnte ein Fehler auftreten?
- Wie würde sich der Fehler äußern bzw. wie tritt der Fehler auf?
- Was für eine Fehlerfolge könnte sich einstellen?
- Warum kann der Fehler oder die Fehlerfolge auftreten?
- Welche Auswirkungen auf das Gesamtsystem können auftreten?

Die Frage nach den Auswirkungen auf das Gesamtsystem wurde im Hinblick auf das im Projekt zugrunde gelegte Qualitätsmodell noch konkreter formuliert:

- Wie und auf welche Qualitätsmerkmale und -parameter wirkt sich der Fehler aus?
- Wie kann diesem Qualitätsmangel begegnet werden?

Wie sich gezeigt hat, kann die Aufstellung eines UWD auch als Vorbereitung auf eine FMEA zum Einsatz kommen (Do-iT 2008a). Diese universellen Methoden zur Suche von Fehlerursachen und -möglichkeiten werden

hier gezielt im Hinblick auf Auswirkungen auf die Qualitätsmerkmale und -parameter hin verwendet. Mängel hinsichtlich einzelner Qualitätsmerkmale oder auch -parameter werden im UWD als unerwünschte Wirkung vorgegeben. Bei der FMEA hat sich gezeigt, dass die tabellarische Dokumentation der Erkenntnisse um die Darstellung der möglichen Auswirkungen auf die Qualitätsmerkmale erweitert werden muss (Do-iT 2008a).

Die FMEA wird hier zusätzlich um die Bestimmung von sogenannten Risiko-Prioritäts-Zahlen (RPZ) und damit um die Kritizität (criticality, daher auch mit FMECA bezeichnet) erweitert und bietet so die Möglichkeit, einzelne Einflussgrößen relativ zueinander zu beurteilen. Es wird dazu die *Wahrscheinlichkeit des Auftretens* (A) eines bestimmten Fehlers, dessen *Bedeutung* (B) sowie seine *Erkennbarkeit bzw. Behebbarkeit* (E) auf einer Skala von 1 bis 10 beurteilt. Das Produkt dieser drei Einflussfaktoren ergibt die RPZ, die einen Indikator für die Dringlichkeit der einzelnen Maßnahmen darstellt. Des Weiteren kann die Wirkung einer Qualitätssicherungsmaßnahme anhand der Senkung der RPZ nachgewiesen werden. Dabei ist es ratsam, die Beurteilungstabellen für Auftreten, Erkennbarkeit und Behebbarkeit dem zu beurteilenden System anzupassen, um den unterschiedlichen Systemen gerecht zu werden. Die Risiken eines SES müssen mit anderen Maßstäben beurteilt werden, wie beispielweise der Ausfall eines Inertialmesssystems im Flugzeug. Trotz der Bestimmung von Zahlenwerten wird auch die FMECA zu den qualitativen Verfahren gerechnet, da die RPZ lediglich einen Indikator zur Bewertung der Fehlermöglichkeiten darstellt. Die Skala verläuft stark nicht-linear und viele der theoretisch 1000 verschiedenen Abstufungen können schon rein rechnerisch nicht erreicht werden. Zwischen den RPZ 900 (z. B. mit $A = 10$, $B = 10$ und $E = 9$ erreichbar) und 1000 (für $A = B = E = 10$) gibt es keine Zwischenstufen, zwischen 1 und 10 hingegen sind alle Zahlen möglich.

Das Informationsflussdiagramm wurde in Anlehnung an das Ereignisablaufdiagramm (DIN 25419 1985) und der Fehlerbaumanalyse (DIN 25424-1 1981) von Wilschko (2004) entwickelt. Das Diagramm ermöglicht die Darstellung der logischen Zusammenhänge der auftretenden Informationen in einem datenverarbeitenden Prozess mithilfe der *UND*-, *ODER*- und *exklusiven ODER-Verknüpfung*, die aus der Boole'schen Algebra bekannt sind. Hinzu kommen u. a. noch die grafische Darstellung einer *Verzweigung* oder *Kontrolle* eines Informationsflusses sowie die Zusammenführung verschiedener redundanter Informationsflüsse mithilfe einer *mvn-Verknüpfung*. In der Regel wird das Informationsflussdiagramm um eine quantitative Komponente zur Beschreibung der Qualität erweitert, die im Abschnitt 2.2.2 anhand eines einfachen Beispiels etwas näher erläutert wird.

Im Projekt Do-iT konnten die stationären Erfassungssysteme der Projektpartner analysiert werden. Die Analyse der ersten prototypischen Algorithmen zur Berechnung von FPD-Trajektorien war aus Zeitgründen hingegen

leider nicht möglich, wenngleich diese entscheidend zur zeitnahen Aufdeckung und Verbesserung von Schwachstellen hätte beitragen können.

Stellvertretend für verschiedene Typen von SES die im Projekt zur Verfügung standen, werden einige Ergebnisse der Analyse einer einfachen Induktionsschleife, die mit dem Verfahren der elektromagnetischen Induktion u. a. eine Zählung der Fahrzeuge ermöglicht, dargestellt. Die Identifikation der Ein- und Ausgangsdaten ist in diesem Beispiel trivial. Es wird die durch ein Fahrzeug verursachte Induktion als Eingangsdatenart gemessen und zu der Ausgangsdatenart Verkehrsstärke (q), Belegungszeit (b) und Durchschnittsgeschwindigkeit (v) verarbeitet. Auf Basis des Funktionsschemas wurden Mängel in der Datenqualität als unerwünschte Wirkungen im UWD angesetzt. Es wurden im Einzelnen Verletzungen der Verfügbarkeit, der Aktualität sowie der Korrektheit untersucht, da insbesondere in diesen Bereichen Verbesserungspotenzial zu erwarten war.

Die Abb. 3 zeigt in Auszügen das Ergebnis der Analyse für eine Verletzung der Verfügbarkeit. Mögliche Ursachen für die unerwünschte Wirkung *kein Messwert* und damit eine Verletzung der Verfügbarkeit werden im Allgemeinen den sogenannten *5Ms*, den Einflussfaktoren *Mensch*, *Maschine*, *Material*, *Mit(um)welt* und *Methode* zugeordnet. Die Darstellung erfolgt, wie in Abb. 3 angedeutet, in Form von Wirkungspfeilen und ähnelt daher in der Anordnung einem Fischgrüppchen.

Die verschiedenen Ursache-Wirkungs-Diagramme, die je nach Aufwand und Zusammensetzung des Teams eine mehr oder weniger vollständige Sammlung an Ursachen für unterschiedliche unerwünschte Wirkungen darstellen, dienen im Anschluss als Grundlage zur Durchführung der FMEA bzw. der FMECA. Die Bestimmung der RPZ wurde hier ebenfalls durchgeführt. Die aufgestellten Diagramme dienten dabei als Gedächtnisstütze bei der Suche nach den Fehlermöglichkeiten einzelner Bauteile. In der Tab. 3 sind exemplarisch einige Ergebnisse der Untersuchung des Bauteils *Induktionsschleife* dargestellt. Die Beurteilung der Auswirkungen hat sich hierbei auf die Qualitätsmerkmale beschränkt, sinnvoll ist jedoch, zusätzlich die Auswirkungen auf die im Qualitätsmodell definierten Parameter festzuhalten.

2.2.2 Quantitative Analysemethoden

Um die Veränderungen und Übergänge in der Datenqualität durch Prozesse hindurch modellieren zu können, hat Wilschko (2004) ein Analyseverfahren entwickelt. Das Verfahren besteht aus dem bereits im Kapitel 2.2.1 vorgestellten *Informationsflussdiagramm* sowie der *analytischen Auswertung* der Informationsqualität.

Damit lässt sich die Erfüllung der fünf Qualitätsmerkmale VE, AK, VO, KO, KR in Form von Erfüllungsgraden in Prozent beschreiben. Die Genauigkeit wird als einziges Merkmal auf Parameterebene mithilfe der Kovarianzfortpflanzung modelliert. Bei den anderen Merkmalen bleibt

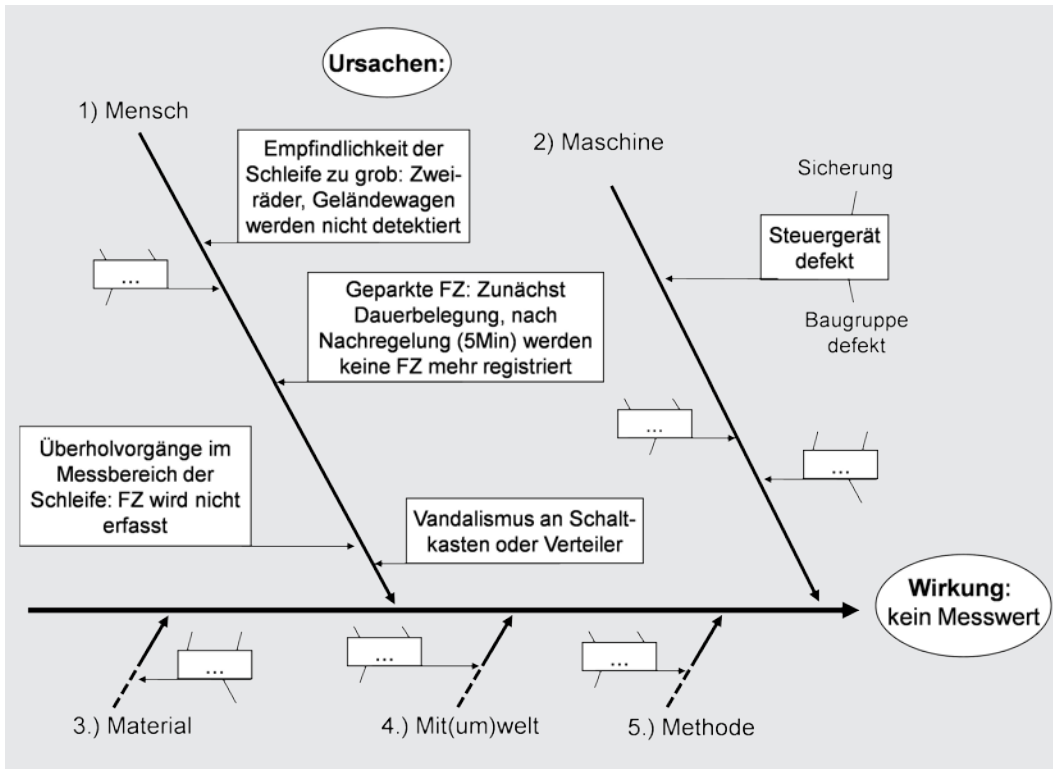


Abb. 3: Ausschnitt aus dem UWD der Schleifensensoren der Stadt Karlsruhe bei Verletzung der Verfügbarkeit (Do-iT 2008a)

Tab. 3: Auszug aus dem FMEA-Formblatt zur Analyse eines Schleifensensors der Stadt Karlsruhe: Analyse des Bauteils »Schleife« (Do-iT 2008a)

lfd. Nr.	Bauteil	Funktion	potenz. Ausfall	mögliche Ursachen	lokale Auswirk.	Auswirk. auf System und Qualität	Erkennung	vorsorgl. Gegenmaßnahme	A B E RPZ	
1.1	Leiter-schleife	Induktion	Bruch/ Abriss	mech. Belastung; Baumaßnahmen; Alterung; Witterung	keine Induktion	keine Messdaten VE verletzt	Meldung an VR: Status braun	gute Vorplanung von Baumaßnahmen; exaktes Leitungskataster	4	
1.2									Kurzschluss	7
1.3									Wackelkontakt	2
									28	
					zeitweise keine Induktion	sporadisch keine M. VE, KR verletzt	Wechsel grün/braun	keine	2	
									8	
									5	
									80	
2.1	Kabelmuffe	Verbindung Schleife mit Zuleitung	
...										

die Modellierung auf die Erfüllungsgrade begrenzt, eine Abbildung der definierten Parameter für einzelne Datenarten im Prozess ist nicht möglich. Des Weiteren erfordert die Abstraktion des zu modellierende Prozesses mithilfe der Boole'schen Operatoren dessen genaue Kenntnis.

Aus Platzgründen wird hier auf eine vollständige Darstellung aller grafischen Symbole und der zugehörigen Rechenvorschriften verzichtet und stattdessen auf die Arbeit von Wiltschko (2004) verwiesen.

mit der beide Arme durchlaufen werden, wird als Faktor in runden Klammern vorangestellt. Hier ist in 1% der Fälle ein Ersatzwert notwendig.

- In der Regel ist die KR der aus Archivdaten interpolierten Werte niedriger, als die tatsächlich gemessenen Werte. Die VE ist jedoch höher und hängt nur von der technischen Verfügbarkeit des Archivs ab. Sie bleibt auch konstant nach der UND-Verknüpfung (jeweils der erste Wert in den eckigen Klammern). Die Erfül-

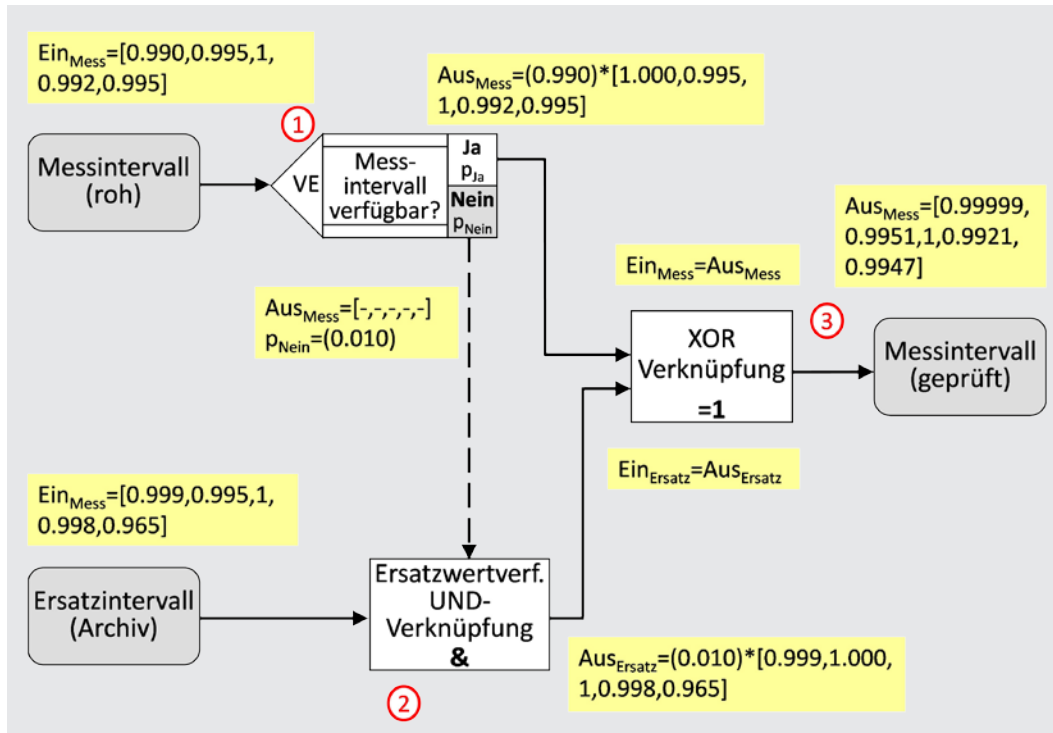


Abb. 4: Anwendung des Analyseverfahrens am Beispiel eines Messwertersatzverfahrens für SES (nach Laufer 2008)

In Abb. 4 ist die Anwendung des vorgestellten Analyseverfahrens anhand eines simplen Beispiels erläutert. Es handelt sich bei dem Beispiel um ein einfaches Messwertersatzverfahren, wie es z.B. bei den SES zum Einsatz kommt. Obwohl die Parameterwerte fiktiv sind, demonstriert das Beispiel doch das prinzipielle Vorgehen. Zur besseren Darstellung der rechnerischen Zusammenhänge werden in der Abbildung keine Prozentangaben gemacht, sondern die Erfüllungsgrade im Intervall [0,1] numerisch angegeben (1.000 entspricht 100.0%).

Die Pfeile deuten die Richtung des Informationsflusses inklusive deren Qualität an. Die Qualität der Informationen an einer bestimmten Stelle im Diagramm wird durch die Angaben des Merkmals erfüllungsgrades in den eckigen Klammern beschrieben. Die Reihenfolge ist dabei fest und folgt der Darstellung in der Tab. 1 (VE, AK, VO, KO, KR). Die Genauigkeit wird mit den Mitteln der Kovarianzfortpflanzung separat behandelt und ist daher nicht mit aufgeführt. Die einzelnen Bereiche in der Abb. 4 sind entsprechend der Nummern nachfolgend noch etwas näher erläutert:

- Die Prüfung der Verfügbarkeit führt im »JA«-Arm zu einer Verfügbarkeit von 100%. Im »NEIN«-Arm gibt es keine Daten zu beschreiben. Die Wahrscheinlichkeit,

lunftsgrade aller fünf Merkmale werden jedoch mit der Wahrscheinlichkeit, mit der der Arm durchlaufen wird, multipliziert. Nach Definition ist die Aktualität nach jedem neuen Prozess zu 100% erfüllt, ein möglicher Mangel zeigt sich in einer sinkenden KR und GE.

- Die exklusive ODER-Verknüpfung vereint die beiden komplementären Zweige in Form eines gewichteten Mittels der einzelnen Merkmale. Das Ersatzwertverfahren erhöht die VE von 99% auf 99.999%. Die AK steigt aufgrund ihrer Definition ebenfalls geringfügig. Die KR sinkt geringfügig, da die archivierten Daten eine niedrigere KR aufweisen.

Dieses einfache Beispiel soll das Verfahren in seinen Grundzügen erläutern. Die zu erwartende Erhöhung der Verfügbarkeit konnte hier rechnerisch nachgewiesen werden. Es konnte gleichzeitig gezeigt werden, dass das Verfahren nur dann eingesetzt werden kann, wenn die Prozente der Merkmals erfüllung bekannt sind, der Prozess hinreichend bekannt ist und dieser mithilfe der Boole'schen Operatoren abgebildet werden kann. Es eignet sich nicht zur Qualitätsbewertung neuer, nicht im Detail bekannter Prozesse, insbesondere kann es nicht in Echtzeit eingesetzt werden.

Die Darstellung und Analyse der FPD-Generierung im Projekt Do-iT mit diesem Verfahren scheiterte unter anderem an der Komplexität der Algorithmen. Eine analytische Darstellung der Prozesse und deren Abbildung mithilfe der vorgestellten, elementaren Rechenoperatoren auf Basis Boole'scher Algebra waren nicht möglich. Abgesehen davon war eine konkrete Modellierung der Datenqualität in den Prozessen auf Parameterebene erwünscht. Das hier vorgestellte Verfahren bleibt jedoch abgesehen von der Genauigkeit zu abstrakt. Hier wurde konkreter Forschungsbedarf identifiziert und es wurden bereits erste Erfolge mit dem Einsatz Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) erzielt.

2.3 Qualitätssicherung und -verbesserung

Aus einer umfassenden Analyse eines bestehenden Systems können Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der Datenqualität abgeleitet werden. In vielen Fällen ergeben sich mögliche Gegenmaßnahmen bereits unmittelbar bei der gemeinsamen Suche und Erörterung von Problemen und Fehlerfolgen, die in einzelnen Systemkomponenten auftreten können. Das Wissen und Vorstellungsvermögen aller Mitglieder des Teams wird bei der Durchführung einer FMEA gebündelt und die Ideen und Ansätze können direkt in der Runde diskutiert werden. In einem zweiten Schritt kann dann die konkrete Ausformulierung und Planung der Umsetzung der festgehaltenen Ideen erfolgen. Dabei können die Maßnahmen hinsichtlich ihrer voraussichtlichen Wirkung in

- kurzfristige (direkt umsetzbare),
- mittelfristige (benötigen einigen Vorlauf) und
- langfristige (Umsetzung erst in einer der nächsten Systemgenerationen)

Maßnahmen eingeteilt werden. Dies ist insbesondere beim Nachweis der Wirksamkeit von Bedeutung, der sich an die Umsetzung der Maßnahmen anschließt.

Der Nachweis der Wirksamkeit umgesetzter Maßnahmen ist ein wesentlicher Bestandteil der Rechtfertigung zusätzlicher Mittel für Material oder Personal, die in der Regel mit der Einführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen (QS-Maßnahmen) einher gehen, gegenüber den Verantwortlichen. Dies erleichtert unter Umständen die Planung weiterer, möglicherweise ähnlicher Maßnahmen.

Die Wirksamkeit der eingeführten QS-Maßnahmen kann auf verschiedene Arten nachgewiesen werden. Das QM-Konzept bietet dazu zum einen die Möglichkeit, Qualitätsparameter vor und nach der Einführung einzelner Maßnahmen zu bestimmen und aus deren Änderung die Wirkung der Maßnahme zu quantifizieren. Zum anderen kann mithilfe einer erneuten Durchführung der FMECA eine Wirksamkeit anhand der Verkleinerung der RPZ nachgewiesen werden. Dabei handelt es sich nur bedingt um eine quantitativ beurteilbare Aussage, vielmehr kann die Wirksamkeit der Maßnahme auf die Fehlerfolge im Vergleich zu den RPZ anderer Fehlerfolgen beurteilt und

die Priorisierung aktualisiert werden. Im Abschnitt 2.4 sind Möglichkeiten zur Evaluierung dargestellt und an Beispielen erläutert.

Die Simulation von Maßnahmen, und damit die Abschätzung von Kosten und Nutzen bereits vor deren konkreter Umsetzung, kann Ressourcen sparen. Dazu ist jedoch eine geeignete Modellierung der Prozesse und damit des Systems erforderlich. Das vorgestellte Rechenverfahren auf Grundlage Boole'scher Algebra ist nicht zur Simulation von Qualitätsparameterwerten geeignet. Abgesehen davon ist zu dessen Anwendung (wie bereits im letzten Kapitel erwähnt) die Identifikation eines exakten, formalen Zusammenhangs der Eingangs- und Ausgangsgrößen des betrachteten Systems erforderlich. Meist ist dieser jedoch nicht bekannt oder zu komplex für eine Modellierung mit den elementaren Verknüpfungsformen, die in dem Analyseverfahren auf Boole'scher Algebra zur Verfügung stehen (vgl. Abschnitt 2.2).

Der Einsatz künstlicher neuronaler Netze erscheint hier sehr vielversprechend. Erste Untersuchungen zur Modellierung von Datenqualität mithilfe von KNN wurden bereits durchgeführt und sind Bestandteil einer wissenschaftlichen Arbeit, die voraussichtlich im kommenden Jahr veröffentlicht wird.

Im Projekt Do-iT war die Entwicklung der Algorithmen zur Mobilfunkortung bis hinein in die letzte Projektphase noch nicht endgültig abgeschlossen. Daher waren eine Analyse der finalen Prozesse und die Entwicklung von QS-Maßnahmen zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Es bot sich jedoch die Gelegenheit, die SES der Projektpartner, insbesondere der Stadt Karlsruhe, näher zu untersuchen. Die Ergebnisse der Analysen wurden in Auszügen bereits im Kapitel 2.2 zur Veranschaulichung der vorgestellten Methoden herangezogen. Daher werden im Folgenden einige daraus abgeleitete Maßnahmen zur Qualitätssicherung und -verbesserung und deren Nachweis dargestellt.

Im Projekt Do-iT wurden aus den Analyseergebnissen für die SES der Stadt Karlsruhe eine Reihe von Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt. In Tab. 4 ist aus Platzgründen nur eine kleine Auswahl der Maßnahmen mit ihren zu erwartenden Wirkungen im angegebenen Zeithorizont dargestellt.

Es hat sich gezeigt, dass nach Einführung der kurzfristig wirksamen, und damit noch während der Projektlaufzeit nachweisbaren, QS-Maßnahmen (für beide in Karlsruhe eingesetzten Sensortypen) insbesondere die Verfügbarkeit der Messdaten von 93,1% auf 95,8% gesteigert werden konnte. Die Ausfallrate der Daten aus SES konnte entsprechend deutlich von 6,9% auf 4,2% zurückgeführt werden – das entspricht einem Rückgang in Höhe von ca. 39,1% (Do-iT 2008b).

Die Summe aller in der FMECA ermittelten RPZ (für beide Sensortypen) konnte bereits mit den kurzfristigen Maßnahmen um ca. 14% gesenkt werden. Mittel- und langfristig wurden bei Projektende Senkungen von 18% bzw. 20% prognostiziert. Die Umsetzung weiterer Maß-

Tab. 4: Auszug aus den erarbeiteten QS-Maßnahmen für SES der Stadt Karlsruhe (Do-iT 2008b)

System	Bauteil	QS-Maßnahme	Ziel	Wirkung (A/B/E)	Zeithorizont
Schleife	Leiterschleife	Einführung eines Baustellen- und Ereignis-managements (BEM)	Reduzierung der Kabelabrisse durch Baumaßnahmen und der Entdeckungs- und Behebungszeit	Schleife: A: 6 → 5 E: 6 → 5 Zuleitung: A: 4 → 3 E: 6 → 5	kurzfristig
Schleife	Spannungsversorgung	Standardmäßiger Einbau einer USV (Unabhängigkeit bei Stromausfall)	Mittel- und langfristige Erhöhung der VE	A: 4 → 3,5 A: 4 → 3	mittel-/langfristig
Schleife	Steuerkabel	Kabelkataster	Reduzierung der Entdeckungs- und Behebungszeit von Aderbrüchen durch Umrangieren auf Ersatzaderpaar	E: -1 E: -2	kurz-/mittelfristig
...					

nahmen und die regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit der Summe der Maßnahmen sind auch in Zukunft geplant.

2.4 Evaluierung

Eine regelmäßige Bestimmung und Beurteilung der aktuellen Datenqualität ist ein wesentlicher Bestandteil eines QM-Konzeptes für Daten. Nur so kann ein, auch Dritten gegenüber, belastbarer Nachweis für die Einhaltung der versprochenen Datenqualität erfolgen. Auch der Erfolg von Qualitätssicherungs- und -verbesserungsmaßnahmen muss durch eine geeignete Evaluierung überprüft und dokumentiert werden.

Die Evaluierung der Qualität von Daten erfordert in der Regel Referenzinformationen. Damit kann im geodätischen Sinne ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt werden. Relative Qualitätsänderungen können mithilfe einer *internen Referenz* erfasst werden, dabei werden die aktuell ermittelten Qualitätsparameterwerte mit aus der Historie zu erwartenden Werten verglichen. Eine unplanmäßige Änderung der Datenqualität kann somit schnell erkannt werden. Deren mögliche Ursachen sind anschließend zu identifizieren (z.B. mithilfe einer FMEA) und näher zu untersuchen.

In dem bereits öfter zur Veranschaulichung herangezogenen Beispiel, dem Projekt Do-iT, war die Evaluierung essenzieller Bestandteil der Arbeiten zum Abschluss des Projekts. Die Dokumentation der Evaluierungsergebnisse in Form eines Abschlussberichtes, diente dem Nachweis der erbrachten Leistungen und der erzielten Ergebnisse gegenüber dem Projektträger. Es wurden sowohl die FPD-Trajektorien – und damit die entwickelten Algorithmen – als auch die daraus ermittelbaren Verkehrslageinformationen, Reisezeiten und Quelle-Ziel-Matrizen evaluiert.

Als Beispiel sollen hier die Evaluierung der FPD-Trajektorien mithilfe externer Referenzdaten kurz dargestellt und einige interessante Ergebnisse gezeigt werden. Zur Evaluierung standen im Testgebiet die gemessenen Verkehrsstärken in KFZ/h von rund 170 stationären Verkehrsdatenerfassungssystemen, nahezu 150 davon auf dem Autobahnnetz, zur Verfügung. Das Testgebiet umfasste im Wesentlichen das Autobahnviereck A8-A5-A6-A81 zwischen Stuttgart, Karlsruhe, Walldorf und Weinsberg, sowie die Stadtgebiete von Stuttgart und Karlsruhe (gesamte Ausdehnung ca. 60 × 60 km²). Im Wesentlichen handelte es sich um Induktionsschleifen, im Stadtgebiet Karlsruhe kamen noch einige TEU hinzu (Abb. 2). Die stundenweise zusammengefassten Verkehrsstärken je Fahrtrichtung (sofern die Fahrbahnen getrennt waren) hatten eine ausreichende Qualität, um als Referenzdaten zu dienen. Dies wurde bereits im Rahmen einer Studienarbeit durch manuelles Nachzählen exemplarisch nachgewiesen (Karrer 2008). Die beiden Parameter

- Durchdringung mit FPD (d) sowie
- Rangkorrelation der Tagesverläufe der Verkehrsstärken (r)

wurden für die Evaluierung der Verfügbarkeit und Korrektheit als Bestandteil des Qualitätsmodells definiert (Tab. 2). Tab. 5 zeigt exemplarisch die Durchdringungen und Rangkorrelationen, die sich aus dem Vergleich mit einigen ausgewählten Sensoren ergaben. Es handelt sich dabei um Mittelwerte über den gesamten Evaluierungszeitraum. In den letzten beiden Spalten ist die jeweils mit den Referenzsensoren (SES) und mithilfe der Mobilfunkortung ermittelte Verkehrsstärke q angegeben. Es werden hier zur Veranschaulichung der allgemeinen Vorgehensweise nur Ergebnisse der Evaluierung eines der beiden in Do-iT entwickelten, grundlegend verschiedenen Verfahren vorgestellt.

Tab. 5: Evaluierungsergebnisse ausgewählter Sensorstandorte (Do-iT 2009)

Lagebeschreibung	d [%]	r [-]	q_SES	q_FPD
A5, ländliches Gebiet	1.10	0.83	52 000	576
A5, Stadtrand KA	0.78	0.74	50 000	392
A8, Stadtrand PF	0.92	0.82	37 000	341
B10, Durchfahrt KA	0.35	0.53	15 000	55
Innenstadt KA	0.04	0.24	21 000	9

Die ersten drei der dargestellten Sensoren repräsentieren die Verhältnisse auf dem Autobahnnetz, die letzten beiden wurden stellvertretend für die dicht bebauten Stadtgebiete ausgewählt. Die mittlere Durchdringung aller SES mit FPD erreicht im Mittel ca. 8.5‰ auf den Autobahnen, was bis zu 25 Trajektorien/h bzw. 600 Trajektorien/Tag entspricht und sinkt mit der Zunahme der Infrastrukturdichte auf unter 1‰ in der Innenstadt von Karlsruhe, was weniger als 1KFZ/h entspricht. Die Rangkorrelation der Tagesgänge liegt auf den Autobahnen im Mittel bei ca. 0.73 und sinkt in der Stadt auf unter 0.5. In der Abb. 5 sind als Beispiel die typischen Tagesgänge der Verkehrsstärke an zwei Sensoren auf der Autobahn A81 für Montag, den 23. März 2009 dargestellt.

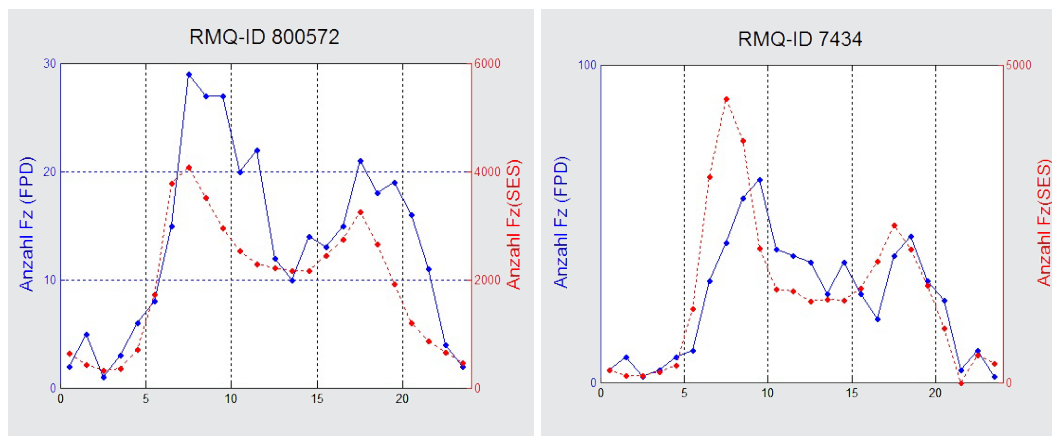


Abb. 5: Beispiele typischer Tagesverläufe der Verkehrsstärke ermittelt aus FDP (durchgezogen) und SES (gestrichelt) (Do-iT 2009)

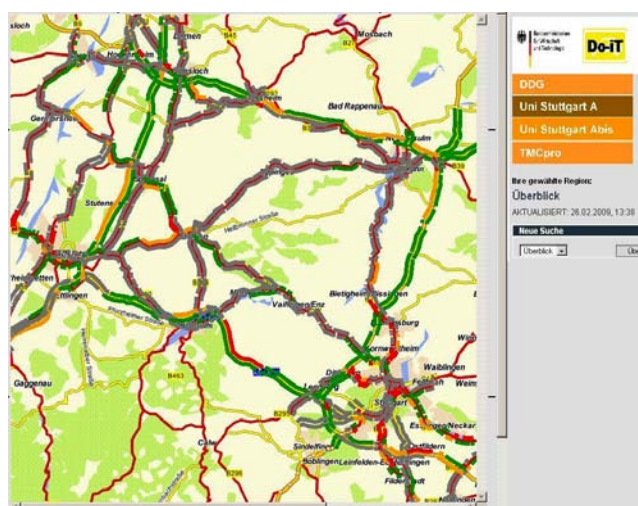


Abb. 6: Online-Demonstrator der DDG mit ampelartiger Darstellung der aktuellen, aus Mobilfunkdaten extrahierten Verkehrslage auf TMC-Kanten¹ (DDG 2009)

¹ TMC-Kanten sind die kleinsten Streckenabschnitte, für die eine separate Ermittlung der Verkehrslage und deren Ausstrahlung über den Traffic Message Channel erfolgt.

In den beiden abgebildeten Fällen ergaben sich Rangkorrelationen von ca. 0.85. Aus den Grafiken ist erkennbar, dass die Tendenz der Verkehrsänderung über den Tag weitgehend aus

den ermittelten Mobilfunktrajektorien abgeleitet werden kann. Eine Hochrechnung des identifizierten Bruchteils des Verkehrs auf die gesamte Verkehrsstärke erscheint ebenfalls möglich. Die Verwendbarkeit in verkehrstechnischen Anwendungen wurde im Rahmen des Projektes Do-iT noch nicht abschließend geklärt. Die Verwendung der Daten für statistische Zwecke (z. B. die Ableitung von großräumigen Quelle-Ziel-Beziehungen) sowie für die Detektion von Verkehrsstörungen konnte jedoch unter anderem bereits in einem online-Demonstrator beispielhaft gezeigt werden (Abb. 6).

Damit konnte anhand der beiden definierten Qualitätsparameter nachgewiesen werden, dass die entwickelten Algorithmen grundsätzlich zur Ermittlung des Verkehrsgeschehens aus Mobilfunkdaten geeignet sind. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Mobilfunkortung in Gebieten mit dichter Infrastruktur aufgrund der mangelnden räumlichen Auflösung der Daten nicht mehr mit hinreichender Qualität möglich ist.

Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass am Projekt nur einer der Mobilfunkanbieter beteiligt war und somit nur etwa 1/3 des gesamten Datenaufkommens zur Auswertung zur Verfügung stand.

Neben der Evaluierung der Verfügbarkeit und der Korrektheit mithilfe der SES als externe Referenz, wurden

einige Testfahrten mit GPS als Referenz durchgeführt, die insbesondere der Evaluierung der Genauigkeit dienen (Do-iT 2009). Die zu diesem Zweck definierten Qualitätsparameter sind ebenfalls in der Tab. 2 enthalten. Auf die Darstellung der Ergebnisse wird hier jedoch aus Platzgründen verzichtet.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag wurde ein Konzept vorgestellt, mit dem das Management von Datenqualität ermöglicht wird. Dieses Konzept muss als Bestandteil eines ganzheitlichen, betrieblichen Qualitätsmanagements angesehen werden, in dem das Management der Qualität sich nicht nur auf Daten bzw. Produkte beschränkt, sondern auf sämtliche Unternehmensbereiche ausgedehnt wird, wie es die ISO 9000er Familie fordert (DIN EN ISO 9000 2005).

Die Eignung des vorgestellten Qualitätsmanagements für Daten wurde anhand eines Projektbeispiels gezeigt, ebenso wie dessen weitere Verwendung zur Evaluierung der Datenqualität. Zwei gängige Verfahren, die zur Analyse von Systemen oder einzelnen Prozessen herangezogen werden können, wurden erläutert und einige Ergebnisse exemplarisch vorgestellt. Schließlich wurden Qualitätssicherungsmaßnahmen, die aus den Analyseergebnissen der SES ermittelt wurden, präsentiert und ihre Wirksamkeit anhand der Risikoprioritätszahlen sowie anhand eines ausgewählten Qualitätsparameters belegt.

Das vorgestellte Verfahren zur Analyse der Informationsqualität ist gut geeignet, um funktional einfach beschreibbare Prozesse auf Merkmalebene zu modellieren. Dies wurde anhand eines einfachen Beispiels demonstriert. Allerdings ist eine konkrete Modellierung und Simulation auf Ebene der Qualitätsparameter nicht möglich. Ebenfalls ungeeignet ist das beschriebene Vorgehen bei komplexeren funktionalen Zusammenhängen, wie es beispielsweise bei der Generierung der FPD-Trajektorien aus Mobilfunkdaten der Fall ist. Eine geeignete Alternative stellen hier die künstlichen neuronalen Netze dar. Sie bieten die Möglichkeit, intuitive Zusammenhänge zwischen der Qualität von Eingangs- und Ausgangsdaten eines Prozesses automatisiert abzubilden.

Mit KNN können grundsätzlich beliebig komplexe funktionale Zusammenhänge, die eine endliche Anzahl von Unstetigkeiten aufweisen, beschrieben werden (Hornik et al. 1989). Daher erscheint deren Anwendung hier sehr vielversprechend. Derzeit wird untersucht, welches Potenzial die KNN zur Modellierung und Simulation von Datenqualität auf Parameterebene tatsächlich haben. Die Forschungsergebnisse werden voraussichtlich im kommenden Jahr veröffentlicht.

Literatur

- Caspary, W.: Qualitätsaspekte beim Aufbau von Geo-Informationssystemen. ZfV 118, Heft 8/9. Stuttgart: Konrad Wittwer, S. 444-449, 1993.
- Deming, E.: Out of the Crisis. MIT Press: Cambridge (Ma), USA, 1982.
- DDG: Online-Demonstrator während der Evaluierungsphase des Projekts Do-iT mit Darstellung der Verkehrslage aus Mobilfunkdaten im Testgebiet. DDG – Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH, letztmaliger Zugriff: März 2009.
- DIN 25419: Ereignisablaufanalyse. Berlin: Beuth, 1985.
- DIN 25424-1: Fehlerbaumanalyse. Berlin: Beuth, 1981.
- DIN 25448: Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluß-Analyse), Berlin: Beuth, zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN 60812, 1990.
- DIN EN 60812: Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA). Berlin: Beuth, 2006.
- DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme. Berlin: Beuth, 2005.
- Do-iT 2008a: Analyseergebnisse der vorliegenden Informationsstrukturen und -ketten. Interner Projektbericht im Projekt Do-iT, 2008.
- Do-iT 2008b: Nachweis der Wirksamkeit der Qualitätssicherungsmaßnahmen. Interner Projektbericht im Projekt Do-iT, 2008.
- Do-iT 2009: Abschlussbericht zur Evaluierung des Projektes Do-iT, 2009.
- Hornik, K. M.; Stinchcombe, M.; White, H.: Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, vol. 2, no. 5, 359-366, 1989.
- ISO/TS 19138: Geographic information-Data quality measures. ISO copyright office: Geneva, 2006.
- ITWissen: Online-Lexikon für Informationstechnologie. Hrsg. Datacom Buchverlag GmbH Peterskirchen, URL: <http://www.itwissen.info>, letzter Zugriff: 10.03.2010.
- Joos, G.: Zur Qualität von objektstrukturierten Daten. Dissertation, Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität der Bundeswehr München, Heft 66, Neubiberg, 2000.
- Kamiske, G.; Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z. 6. Auflage, München: Hanser, 2008.
- Karrer, K.: Untersuchung der Qualität stationärer Erfassungssysteme auf der A81. Studienarbeit am IAGB, Universität Stuttgart, 2008.
- Laufer, R.: Usage of a quality management concept for data exemplified with stationary traffic acquisition systems. Proceedings on 4th int. symposium »Networks for Mobility«, Stuttgart, 2008.
- Müller, D.H.; Tietjen, T.: FMEA-Praxis. München; Wien: Carl Hanser, 2000.
- Niemeier, W.: Ausgleichsrechnung. Berlin; New York: De Gruyter, 2002.
- PAS 1071: Qualitätsmodell für die Beschreibung von Geodaten. Deutsches Institut für Normung, Berlin: Beuth, 2007.
- Ramm, K.; Schwieger, V.: Mobile Positioning for Traffic State Acquisition. Journal of Location Based Services, London: Taylor & Francis, UK, 2008.
- Schulte-Zurhausen, M.: Organisation. 3. Aufl., München: Verlag Vahlen, 2002.
- Wiltschko, T.: Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten. Dissertation, IAGB, Universität Stuttgart, VDI Reihe 12, Nr. 57, VDI Verlag, 2004.
- Wiltschko, T.; Kaufmann, T.: A Quality Model for Quality Assurance of Road Information. Proceedings on 5th European Congress on ITS, Hannover, 2005.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Ralf Laufer
 Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen
 Universität Stuttgart
 Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart
 Tel.: 0711 685 84051
ralf.laufer@iagb.uni-stuttgart.de